

이동통신 마이크로셀 기지국의 최적 위치선정을 위한 전파경로 해석

An Propagation Path Analysis for Optimal Position Selection of Microcell Base Station in the Mobile Communication System

노 순 국*, 박 창 균**
(Sun Kuk Noh*, Chang Kyun Park**)

* 이 논문은 1998년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음

요 약

마이크로셀 이동통신에서 기지국으로부터 이동국까지의 전파환경을 보다 신속하고 정확히 해석하기 위해 전파의 반사 횡수와 전파경로를 연산처리 할 수 있는 삼각해석법 알고리즘을 제안한다.

그리고, 이동국이 가시거리 영역의 전파 음영지역 또는 가시거리 영역과 임의의 경사각으로 기울어져 있는 비가시거리 영역의 전파 음영지역에 위치한 경우를 각각 가정하고, 제안 알고리즘을 시뮬레이션하여, 그 결과를 분석함으로써 마이크로셀 이동통신의 최적 기지국 위치 선정 조건을 제시한다.

ABSTRACT

In the microcell mobile communication, we propose algorithms processing operational disposition to exactly analysis propagation environments from the base station to mobile stations. Algorithms are developed by the triangle analysis method can operate variable propagation paths and reflect numbers.

For simulation, we suppose that mobile stations are located in the shadow region of the line of sight and the area of the non-line of sight sloping against the line of sight area at variable angles. By analyzing the results of simulation using proposed algorithms, we can be applied to the optimal position selection of the base station in the microcell mobile communication.

I. 서 론

차량이동통신, 개인휴대통신, 무선데이터통신 등, 이동통신 응용 시스템의 최적 셀 설계를 위해서는 특정 생활 공간에서의 전파특성에 대한 연구가 우선되어야 한다.

특히, 서비스 반경이 1km 이상인 매크로셀의 경우와는 달리, 1km 이내인 마이크로셀 또는 피코셀 이동통신 방식에서는 인접기지국간 신호의 상호간섭을 최소화해야 할 필요에 따라 기지국의 출력을 가능한 한 최소로 하고, 송신 안테나 높이는 주변 건물보다 낮게 설치되어야 하기 때문에 셀내에 위치한 지형지물은 전파특성에 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라 다양하여 실제 이동국의 70% 이상이 전파 음영지역에 위치하게 된다[1-7]. 그러므로, 셀내 지형지물

의 형상에 따라 달라지는 전파환경과 경로를 해석하여 마이크로셀 이동통신 시스템 설계에 활용할 필요가 있다 [8-14].

그동안 이동통신의 보급이 급속도로 확산되면서 전파 경로 추적을 위한 연구활동이 활발히 진행되어 다중영상 경로추적법과 전파송출법 등이 제시되었다.[15-17] 그러나 이들 모델은 전파경로 해석에 사용된 예측 코드의 구현이 매우 까다로워 계산소요시간이 많고 연산처리 또한 불가능하여, 실제 반사횡수가 많은 이동통신 전파환경에서는 그 응용이 불가능하다는 단점을 갖고 있다.

따라서, 본 연구에서는 도심 생활공간 마이크로셀 또는 피코셀 이동통신 전파환경을 가시거리의 전파음영지역과 비가시거리의 전파음영지역으로 구분하고, 각각의 경우 전파경로를 보다 정확히 해석하기 위해 전파의 입사각과 반사각, 전파경로의 도로폭, 비가시거리 영역의 경사각을 파라미터로 하여 기지국으로부터 송신된 전파가 이동국

* 조선대학교 대학원 전자공학과

** 조선대학교 전자정보통신공학부

접수일자: 1999년 8월 5일

까지 도래하는 동안 전파경로, 반사횟수, 경사각과 입사각을 동시 연산처리 할 수 있는 삼각해석법에 의한 알고리즘을 제안한다.

그리고, 제안 알고리즘을 시뮬레이션하여 그 결과를 분석함으로써 마이크로셀 또는 피코셀 이동통신의 최적 기지국 위치 선정 조건을 제시하고, 이동통신 셀 설계에 활용할 수 있도록 한다.

II. 전파경로 해석을 위한 알고리즘

기지국으로부터 송신된 전파가 도로변 양측 건물벽면에서의 반복된 반사에 의해 이동국에 도달하기까지 전파경로, 반사횟수, 경사각과 입사각을 해석하기 위한 알고리즘을 제안하기 앞서 다음을 가정한다.

첫째, 기지국 안테나의 높이는 주변 건물보다 낮은 것으로 한다.

둘째, 전파의 입사각과 반사각이 10° 미만인 특별한 경우를 제외하고, 한번의 입사와 반사에 의해 진행되는 전파의 직진경로는 짧기 때문에 그 구간의 도로폭은 일정한 것으로 한다.

셋째, 기지국으로부터 이동국에 도래하는 유효전파는 가시거리 영역과 비가시거리 영역의 도로변을 따라 수직인 건물벽면에 의한 반사파만이므로 수평파이다.

그림 1은 이동국이 가시거리 영역의 직진도로로부터 약간 벗어난 임의의 전파 음영지역에 위치한 경우와 직진도로와 임의의 경사각 θ_0 로 기울어져 있는 비가시거리 영역의 직진교차로 상 또는 그로부터 약간 벗어난 임의의 점에 위치한 경우로 각각 구분하고, 기지국으로부터의 전파가 이동국에 도래 하는 동안 입사각, 반사각, 경로상 도로폭 그리고 직진 교차로의 경사각 변화에 따라 값을 달리하는 전파의 반사횟수, 전파경로, 경사각과 입사각을 해석하기 위한 삼각해석법 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션 하기 위한 가상 모델이다.

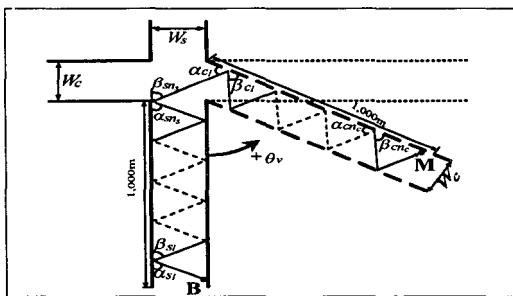


그림 1. 알고리즘 제안을 위한 가상 모델
Fig. 1. Supposition model for algorithm proposition.

2.1 가시거리 영역 전파경로 해석 알고리즘

그림 2는 전파의 두 번 반사시 직진경로와 전파경로를 삼각해석법으로 구하기 위한 가상 전파진행모델이다.

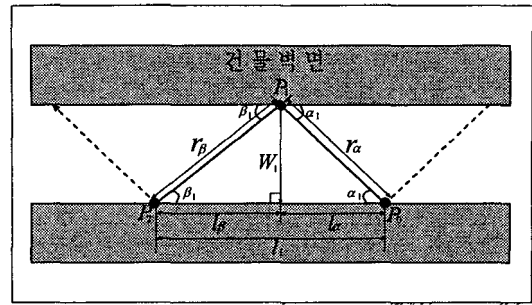


그림 2. 가상 전파진행모델
Fig. 2. Supposition wave progress model.

2.1.1 반사파의 직진경로

그림 2와 같이 도로폭 W_1 인 직진 도로변을 따라 수직인 건물벽면상 점 P_0 로부터의 반사파가 점 P_1 에 α_1 의 각으로 입사, β_1 의 각으로 반사하여 점 P_2 에 도달할 때까지의 직진경로 $l_1(\overline{P_0, P_2})$ 은 전파경로 $r_1(\overline{P_0, P_1, P_2})$ 에 대응한 도로와 평행한 직선거리로써 식 (1)과 같다.

$$l_1 = l_\alpha + l_\beta = \frac{W_1}{\sin \alpha_1} \cos \alpha_1 + \frac{W_1}{\sin \beta_1} \cos \beta_1$$

$$= W_1 \left(\frac{\cos \alpha_1}{\sin \alpha_1} + \frac{\cos \beta_1}{\sin \beta_1} \right) \quad (1)$$

그림 1과 같이 기지국으로부터의 전파가 가시거리 영역 음영지역에 있는 이동국까지 도래하는 동안, 한쪽 건물벽면 기준 n_s 번의 입사와 반사를 하고, 그 때 마다 입사각이 α_{s, n_s} , 반사각이 β_{s, n_s} , 그리고 도로폭이 W_{s, n_s} 인 경우, 전파가 진행한 직진경로 l_{s, n_s} 는 식 (1)을 확대 해석하여 구할 수 있고, 그 결과는 식 (2) 와 같다.

$$l_{s, n_s} = \sum_{n_s=1}^{m_s} W_{s, n_s} \left(\frac{\cos \alpha_{s, n_s}}{\sin \alpha_{s, n_s}} + \frac{\cos \beta_{s, n_s}}{\sin \beta_{s, n_s}} \right) \quad (2)$$

2.1.2 반사파의 전파경로

그림 2와 같이 도로폭 W_1 인 직진 도로변을 따라 수직인 건물벽면상 점 P_0 로부터의 반사파가 점 P_1 에 α_1 의 각으로 입사, β_1 의 각으로 반사하여 점 P_2 에 도달할 때까지의 전파경로 $r_1(\overline{P_0, P_1, P_2})$ 은 전파의 직진경로 $l_1(\overline{P_0, P_2})$ 에 대응한 전파의 실제 이동거리로써 식 (3)과 같다.

$$r_1 = r_\alpha + r_\beta = \frac{W_1}{\sin \alpha_1} + \frac{W_1}{\sin \beta_1} \quad (3)$$

그림 2와 같이 기지국으로부터의 전파가 가시거리 영역 음영지역에 있는 이동국까지 도래하는 동안, 한쪽 건물벽면 기준 n_s 번의 입사와 반사를 하고, 그 때 마다 입사각

이 α_{s, n_s} , 반사각이 β_{s, n_s} 그리고 도로폭이 W_{s, n_s} 인 경우, 전파의 실제 이동거리인 전파경로 r_{s, n_s} 는 식 (3)을 확대 해석하여 구할 수 있고, 그 결과는 식 (4)와 같다.

$$r_{s, n_s} = \sum_{n_s=1}^{m_s} W_{s, n_s} \left(\frac{\sin \alpha_{s, n_s} + \sin \beta_{s, n_s}}{\sin \alpha_{s, n_s} \sin \beta_{s, n_s}} \right) \quad (4)$$

2.2 비가시거리 영역 전파경로 해석 알고리즘

2.2.1 비가시거리 영역의 전파 입사각

그림 1과 같이 기지국으로부터 송신된 전파는 반복된 반사에 의해 가시거리 영역과 임의의 경사각을 갖는 비가시거리 영역에 진입하고, 진입한 전파의 입사각과 유효 전파의 분포는 가시거리 영역 전파의 최종반사각에 따라 각각 다르다.

반사각 β_{s, n_s} 인 가시거리 영역 최종 반사파가 θ_v 의 임의의 경사각을 이룬 비가시거리 영역 건물벽면에 도래할 때, 전파의 최초 입사각 α_{cl} 은 식 (5)와 같다.

$$\alpha_{cl} = 180 - [\beta_{s, n_s} + \theta_v] [^\circ] \quad (5)$$

여기서, θ_v 는 6시 방향을 "0"으로 기준하여 반시계 방향으로 회전할 때 "+"로 한다.

2.2.2 반사파의 직진경로

그림 1과 같이 가시거리 영역으로부터의 반사파가 도로폭 W_{cn} 인 비가시거리 영역에 진입하여, 다시 임의의 입사각 α_{cn} 과 반사각 β_{cn} 으로 n_c 번 반사하여 이동국까지 도래하는 동안 반사파의 총 직진경로 l_n 을 가시거리 영역에서와 동일한 방법으로 해석하여 구할 수 있고, 그 결과는 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} l_n &= l_{sm} + l_{cn} \\ &= \sum_{n_s=1}^{m_s} W_{s, n_s} \left(\frac{\cos \alpha_{s, n_s}}{\sin \alpha_{s, n_s}} + \frac{\cos \beta_{s, n_s}}{\sin \beta_{s, n_s}} \right) \\ &\quad + \sum_{n_c=1}^{m_c} W_{c, n_c} \left(\frac{\cos \alpha_{c, n_c}}{\sin \alpha_{c, n_c}} + \frac{\cos \beta_{c, n_c}}{\sin \beta_{c, n_c}} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

2.3.3 반사파의 전파경로

반사파의 직진경로 해석에서와 같이 동일한 조건에서 가시거리 영역으로부터의 반사파가 비가시거리 영역의 이동국까지 도래하는 동안 반사파의 총 전파경로 r_n 을 가시거리영역에서와 동일한 방법으로 해석하여 구할 수 있고, 그 결과는 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} r_n &= r_{sm} + r_{cn} \\ &= \sum_{n_s=1}^{m_s} W_{s, n_s} \left(\frac{\sin \alpha_{s, n_s} + \sin \beta_{s, n_s}}{\sin \alpha_{s, n_s} \sin \beta_{s, n_s}} \right) \end{aligned}$$

$$+ \sum_{n_c=1}^{m_c} W_{c, n_c} \left(\frac{\sin \alpha_{c, n_c} + \sin \beta_{c, n_c}}{\sin \alpha_{c, n_c} \sin \beta_{c, n_c}} \right) \quad (7)$$

III. 시뮬레이션 및 결과

제안 알고리즘을 시뮬레이션하기 위한 사양은 표 1과 같다. 단, 해석의 편의상 가시거리 영역과 비가시거리 영역을 진행하는 전파의 반사는 모두 정반사이고, 두 영역의 도로폭은 동시에 동일폭으로 변하는 것으로 가정한다.

표 1. 시뮬레이션 사양
Table 1. Simulation specification

가상 전파경로	그림 1
전파환경	도심 마이크로셀 PCS 이동통신
서비스 가능거리	가시거리 1,000m, 비가시거리 1000m
도로폭	10m, 20m, 30, 40m
입사각과 반사각	15°~85°
교차로 경사각	5°~170°

3.1 가시거리 영역 전파경로

3.1.1 반사파의 직진경로

전파의 입사각과 반사각 범위를 5° ~ 85°로, 도로폭 범위를 10m~40m로 할 때, 두번 반사에 대응한 직진경로와 전파가 이동국까지 도래하는 동안 가시거리 1km 구간에서 발생하는 반사횟수는 식 (2)에 의해 구할 수 있고, 그 결과는 표 2, 그림 3과 같다.

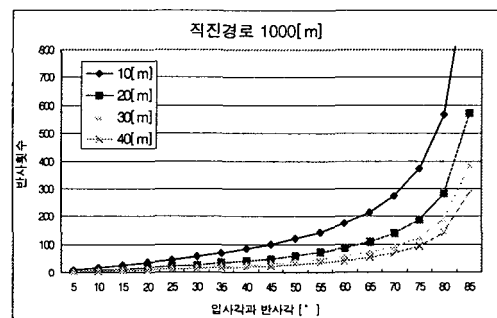


그림 3. 입사각과 반사각, 도로폭에 따른 반사횟수
Fig. 3. Reflection numbers by incidence angles, reflection angles and road widths.

표 2의 결과를 구체적으로 비교할 수 있도록 두번 반사시 직진경로, 전파가 이동국까지 도래하는 동안 반사횟수의 최대·최소값, 그리고 평균값을 정리한 결과는 표 3과 같다.

표 2. 입사각과 반사각, 도로폭에 따른 직진 경로와 반사횟수
Table 2. Direct paths and reflection numbers by incidence angles, reflection angles and road widths.

도로폭 [m]	입사각과 반사각 [°]	2번 반사시 직진경로 [m]	반사 횟수	도로폭 [m]	입사각과 반사각 [°]	2번 반사시 직진경로 [m]	반사 횟수
10	5	228.6	8	30	5	685.9	2
	10	113.4	17		10	340.3	5
	15	74.6	26		15	223.9	8
	20	54.9	36		20	164.8	12
	25	42.9	46		25	128.7	15
	30	34.6	57		30	103.9	19
	35	28.6	70		35	85.7	23
	40	23.8	83		40	71.5	27
	45	20.0	99		45	60.0	33
	50	16.8	119		50	50.3	39
	55	14.0	142		55	42.0	47
	60	11.5	173		60	34.6	57
	65	9.3	214		65	28.0	71
	70	7.3	274		70	21.8	91
	75	5.4	373		75	16.1	124
80	3.5	567	80	10.6	189		
85	1.7	1143	85	5.2	381		
20	5	457.2	4	40	5	914.4	2
	10	226.9	8		10	453.7	4
	15	149.3	13		15	298.6	6
	20	109.9	18		20	219.8	9
	25	85.8	23		25	171.6	11
	30	69.3	28		30	138.6	14
	35	57.1	35		35	114.3	17
	40	47.7	41		40	95.3	20
	45	40.0	49		45	80.0	24
	50	33.6	59		50	67.1	29
	55	28.0	71		55	56.0	35
	60	23.1	86		60	46.2	43
	65	18.7	107		65	37.3	53
	70	14.6	137		70	29.1	68
	75	10.7	186		75	21.4	93
80	7.1	283	80	14.1	141		
85	3.5	571	85	7.0	285		

표 3. 입사각과 반사각 5° ~ 85° 에서 도로폭에 따른 직진 경로와 반사횟수
Table 3. Comparison of direct paths and reflection numbers by incidence angles, reflection angles and road widths.

도로폭 [m]	2번 반사 직진경로 [m]			반사횟수		
	최대	최소	평균 직진경로	최대	최소	평균 반사횟수
10	228.6	1.7	40.6	1143	8	202.8
20	457.2	3.5	81.3	571	4	101.4
30	685.9	5.2	122.0	381	2	67.2
40	914.4	7.0	162.6	285	2	50.2

시뮬레이션 결과의 특징은 다음과 같다.

◆ 전 입사각과 반사각에서 두 번 반사시 직진경로의 최대·최소치는 도로폭에 반비례하여 도로폭이 넓을 수록 커진다.

◆ 전 입사각과 반사각에 대한 평균 직진경로는 도로 폭에 비례하여 도로폭이 넓을 수록 길어진다.

◆ 전 입사각과 반사각에서 반사횟수는 도로폭에 반비례하여 도로폭이 넓을수록 적어지고, 평균 반사횟수 또한 도로폭에 반비례하여 도로폭이 넓을 수록 적어진다.

결국, 동일한 입사각과 반사각에서 전파의 반사횟수는 주변 도로상황과 밀접한 관계가 있고, 도로폭이 넓을수록 반사횟수가 적어지므로 전파 경로손실 또한 적어진다.

표 4. 입사각, 반사각, 도로폭에 따른 전파경로

Table 4. Propagation paths by incidence angles, reflection angles and road widths.

도로폭 [m]	입사각 반사각 [°]	전파 경로 [m]	도로폭 [m]	입사각 반사각 [°]	전파 경로 [m]
10	5	1003.8	30	5	1003.8
	10	1015.4		10	1015.4
	15	1035.3		15	1035.3
	20	1064.2		20	1064.2
	25	1103.4		25	1103.4
	30	1154.7		30	1154.7
	35	1220.8		35	1220.8
	40	1305.4		40	1305.4
	45	1414.2		45	1414.2
	50	1555.7		50	1555.7
	55	1743.4		55	1743.4
	60	2000.0		60	2000.0
	65	2366.2		65	2366.2
	70	2923.8		70	2923.8
	75	3863.7		75	3863.7
80	5758.8	80	5758.8		
85	11473.7	85	11473.7		
20	5	1003.8	40	5	1003.8
	10	1015.4		10	1015.4
	15	1035.3		15	1035.3
	20	1064.2		20	1064.2
	25	1103.4		25	1103.4
	30	1154.7		30	1154.7
	35	1220.8		35	1220.8
	40	1305.4		40	1305.4
	45	1414.2		45	1414.2
	50	1555.7		50	1555.7
	55	1743.4		55	1743.4
	60	2000.0		60	2000.0
	65	2366.2		65	2366.2
	70	2923.8		70	2923.8
	75	3863.7		75	3863.7
80	5758.8	80	5758.8		
85	11473.7	85	11473.7		

3.1.2 반사파의 전파경로

입사각과 반사각 범위를 5° ~ 85° 로, 도로폭 범위를 10m ~ 40m로 할 때, 전파가 이동국까지 도래하는 동안 가시거리 1km 구간에서의 전파경로는 식 (4)에 의해 구할 수 있고, 그 결과는 표 4, 그림 4와 같다.

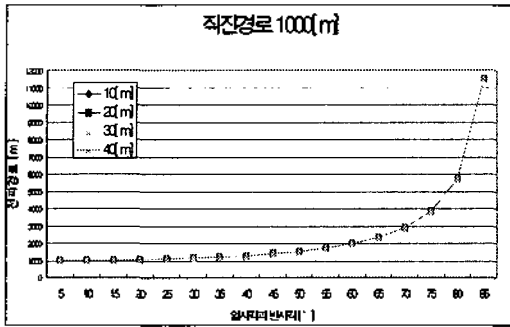


그림 4. 입사각, 반사각, 도로폭에 따른 전파경로
Fig. 4. Propagation paths by incidence angles, reflection angles and road widths.

표 4의 결과를 구체적으로 비교할 수 있도록 도로폭에 따른 전파경로의 최대·최소값과 평균값을 구한 결과는 표 5와 같다.

표 5. 도로폭에 따른 전파경로의 비교
Table 5. Comparison of propagation paths by road widths.

도로폭 [m]	전파경로 [m]			도로폭 [m]	전파경로 [m]		
	최대	최소	평균전파 경로		최대	최소	평균전파 경로
10	11474	1004	2470	30	11474	1004	2470
20	11474	1004	2470	40	11474	1004	2470

시뮬레이션 결과의 특징은 다음과 같다.

- ◆ 전파경로는 입사각과 반사각에 비례하여 각이 적을 수록 짧아진다.
- ◆ 전 입사각과 반사각에서 전파경로의 최대·최소차는 도로폭에 관계없이 일정하다
- ◆ 전 입사각과 반사각에서의 평균 전파경로는 도로폭에 관계없이 일정하다.

결국, 동일한 입사각과 반사각에서 전파경로는 주변 도로 폭과 관계없이 일정하고, 다만 도로폭은 반사횟수만에 영향을 미칠뿐이다.

이상의 반사파 직진경로와 전파경로의 시뮬레이션 결과, 가시거리 영역에서 인접 기지국간 신호간섭을 최소화하고 서비스 능률을 보다 향상시키기 위한 이동통신 마이크로셀 기지국의 최적 위치는 셀내의 도로폭에 따라 각각 달라지므로 표 2, 표 4로써 엄격히 규제되어야 한다

3.2. 비가시거리 영역 전파경로

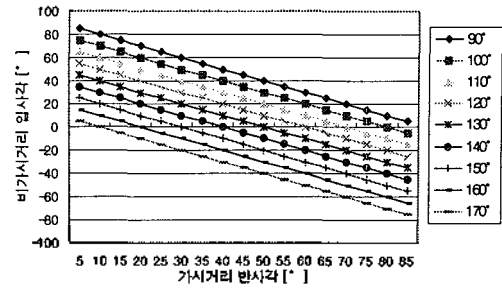
3.2.1 전파의 입사각과 유·무효전파비

가시거리 영역 도로변 양측 건물벽면을 따라 진행된 전파가 최종 반사각 β_{sm} 로 경사각 θ_v 의 비가시거리

표 6. 반사각과 경사각에 따른 입사각
Table 6. Incidence angles by reflection angles and sloping angles.

θ_v°	β_{sm}°	α_{cl}°	θ_v°	β_{sm}°	α_{cl}°	θ_v°	β_{sm}°	α_{cl}°
	5	170		5	165		5	160
	10	165		10	160		10	155
	15	160		15	155		15	150
	20	155		20	150		20	145
	25	150		25	145		25	140
	30	145		30	140		30	135
	35	140		35	135		35	130
	40	135		40	130		40	125
5	45	130	10	45	125	15	45	120
	50	125		50	120		50	115
	55	120		55	115		55	110
	60	115		60	110		60	105
	65	110		65	105		65	100
	70	105		70	100		70	95
	75	100		75	95		75	90
	80	95		80	90		80	85
	85	90		85	85		85	80
	5	155		5	150		5	145
	10	150		10	145		10	140
	15	145		15	140		15	135
	20	140		20	135		20	130
	25	135		25	130		25	125
	30	130		30	125		30	120
	35	125		35	120		35	115
	40	120		40	115		40	110
20	45	115	25	45	110	30	45	105
	50	110		50	105		50	100
	55	105		55	100		55	95
	60	100		60	95		60	90
	65	95		65	90		65	85
	70	90		70	85		70	80
	75	85		75	80		75	75
	80	80		80	75		80	70
	85	75		85	70		85	65
	5	135		5	125		5	115
	10	130		10	120		10	110
	15	125		15	115		15	105
	20	120		20	110		20	100
	25	115		25	105		25	95
	30	110		30	100		30	90
	35	105		35	95		35	85
	40	100		40	90		40	80
40	45	95	30	45	85	60	45	75
	50	90		50	80		50	70
	55	85		55	75		55	65
	60	80		60	70		60	60
	65	75		65	65		65	55
	70	70		70	60		70	50
	75	65		75	55		75	45
	80	60		80	50		80	40
	85	55		85	45		85	35
	5	105		5	95		5	85
	10	100		10	90		10	80
	15	95		15	85		15	75
	20	90		20	80		20	70
	25	85		25	75		25	65
	30	80		30	70		30	60
	35	75		35	65		35	55
	40	70		40	60		40	50
70	45	65	80	45	55	90	45	45
	50	60		50	50		50	40
	55	55		55	45		55	35
	60	50		60	40		60	30
	65	45		65	35		65	25
	70	40		70	30		70	20
	75	35		75	25		75	15
	80	30		80	20		80	10
	85	25		85	15		85	5

θ_v°	β_{sm}°	α_{cl}°	θ_v°	β_{sm}°	α_{cl}°	θ_v°	β_{sm}°	α_{cl}°
100	5	75	110	5	65	120	5	55
	10	70		10	60		10	50
	15	65		15	55		15	45
	20	60		20	50		20	40
	25	55		25	45		25	35
	30	50		30	40		30	30
	35	45		35	35		35	25
	40	40		40	30		40	20
	45	35		45	25		45	15
	50	30		50	20		50	10
	55	25		55	15		55	5
	60	20		60	10		60	0
	65	15		65	5		65	-5
	70	10		70	0		70	-10
	75	5		75	-5		75	-15
	80	0		80	-10		80	-20
85	-5	85	-15	85	-25			
130	5	45	140	5	35	150	5	25
	10	40		10	30		10	20
	15	35		15	25		15	15
	20	30		20	20		20	10
	25	25		25	15		25	5
	30	20		30	10		30	0
	35	15		35	5		35	-5
	40	10		40	0		40	-10
	45	5		45	-5		45	-15
	50	0		50	-10		50	-20
	55	-5		55	-15		55	-25
	60	-10		60	-20		60	-30
	65	-15		65	-25		65	-35
	70	-20		70	-30		70	-40
	75	-25		75	-35		75	-45
	80	-30		80	-40		80	-50
85	-35	85	-45	85	-55			
60	5	15	170	5	5		5	0
	10	10		10	0		10	0
	15	5		15	-5		15	-5
	20	0		20	-10		20	-10
	25	-5		25	-15		25	-15
	30	-10		30	-20		30	-20
	35	-15		35	-25		35	-25
	40	-20		40	-30		40	-30
	45	-25		45	-35		45	-35
	50	-30		50	-40		50	-40
	55	-35		55	-45		55	-45
	60	-40		60	-50		60	-50
	65	-45		65	-55		65	-55
	70	-50		70	-60		70	-60
	75	-55		75	-65		75	-65
	80	-60		80	-70		80	-70
85	-65	85	-75	85	-75			



(b) 경사각 90° 이상

그림 5. 경사각과 반사각에 따른 입사각.

Fig. 5. Incidence angles by sloping angles and reflection angles.

표 6에서, 비가시거리 영역에 진입한 전파의 최초 입사각이 90°보다 클 때는 진입한 전파 전부가 역반사 하여 이동국에 도래하지 않기 때문에 무효전파가 되는 경우이고, "0"값은 가시거리 영역 최종 반사파가 비가시거리 영역에 진입하여 무반사로 진행할 때이며, "-"값은 "+"값과 비교해 반대쪽 건물 벽면에 전파가 입사하는 경우이다.

그림 5(a)는 경사각 90° 미만에서 비가시거리 영역에 진입한 전파의 입사각으로써 이동국에 도래하는 유효파수가 100% 미만인 경우이고, 그림 5(b)는 경사각 90° 이상에서 비가시거리 영역에 진입한 전파의 입사각으로써 이동국에 도래하는 유효파수가 100%인 경우이다.

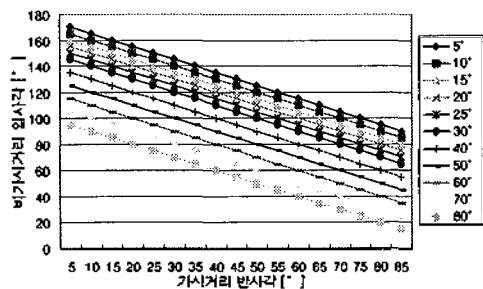
표 6의 결과를 구체적으로 비교할 수 있도록 비가시거리 영역에 진입한 반사파의 유효·무효전파 수의 비와 유효전파 수의 백분율 즉, 가입자 서비스 가능 백분율을 정리한 결과는 표 7과 같다.

표 7. 경사각에 따른 파수비와 서비스율

Table 7. Wave number ratios and service rates by sloping angles.

경사각 [°]	유효·무효 파수비	서비스율 [%]	경사각 [°]	유효·무효 파수비	서비스율 [%]	경사각 [°]	유효·무효 파수비	서비스율 [%]
5	0 : 17	0	65	12 : 5	70.6	125	17 : 0	100
10	1 : 16	6.3	70	13 : 4	76.5	130	17 : 0	100
15	2 : 15	11.8	75	14 : 3	82.4	135	17 : 0	100
20	3 : 14	17.6	80	15 : 2	88.2	140	17 : 0	100
25	4 : 13	23.5	85	16 : 1	94.1	145	17 : 0	100
30	5 : 12	29.4	90	17 : 0	100	150	17 : 0	100
35	6 : 11	35.3	95	17 : 0	100	155	17 : 0	100
40	7 : 10	41.2	100	17 : 0	100	160	17 : 0	100
45	8 : 9	47.1	105	17 : 0	100	165	17 : 0	100
50	9 : 8	52.9	110	17 : 0	100	170	17 : 0	100
55	10 : 7	58.8	115	17 : 0	100	175	17 : 0	100
60	11 : 6	64.7	120	17 : 0	100	180	17 : 0	100

영역에 진입할 때, 최종 반사각 범위 5°~ 85°와 경사각 범위 5°~ 170°에 따라 그 값을 달리하는 비가시거리 영역 전파의 최초 입사각 α_{cl} 과 입사한 전파의 유효전파와 무효전파의 분포는 식 (5)에 의해 구할 수 있고, 그 결과는 표 6, 그림 5와 같다.



(a) 경사각 90° 미만

시뮬레이션의 결과, 도로폭에 무관하고 가시거리 영역의 최종 반사각에 따라 그 값을 달리하는 비가시거리 영역 최초 입사각의 특징을 정리하면 다음과 같다.

◆ 유효전파의 수는 경사각에 비례하여 클수록 증가한다.

◆ 경사각 90°이상에서. 비가시거리 영역에 진입한 전파의 100%가 유효전파이다.

◆ 경사각 90°이하에서 유효전파 수는 100%미만이고, 50°에서는 약 50%, 10°이하에서는 0%에 근접한다.

결국, 가입자 서비스를 충족시키기 위한 유효전파 비율 100%로 기준할 때, 경사각은 최소 90°이상이고, 유효전파 비율 70%로 할 때 경사각은 65°이상이어야 한다.

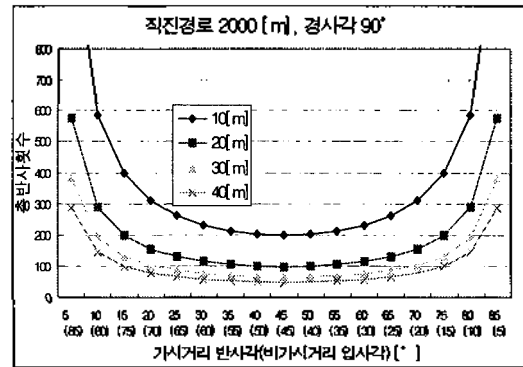
3.2.2 반사파의 직진경로

가시거리 영역과 비가시거리 영역의 직진경로를 각각 1km로 할 때, 입사각과 반사각 그리고 도로폭과 경사각에 따라 값을 달리하는 각 영역에서의 반사횟수와 총 반사횟수식은 (6)에 의해 구할 수 있고, 그 결과는 표 8, 그림 6과 같다.

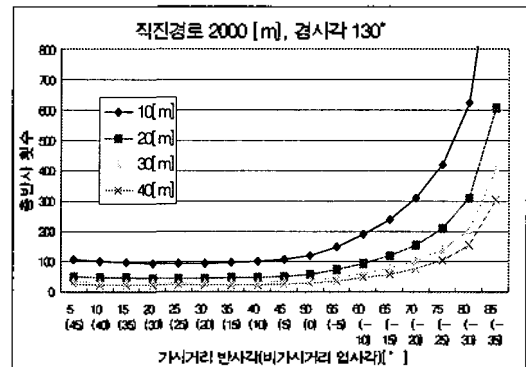
표 8. 경사각, 도로폭, 반사각, 입사각에 따른 총 반사횟수
Table 8. Total reflection numbers by sloping angles, road widths, reflection angles and incidence angles.

경사각 [°]	도로폭 10 [m]				도로폭 30 [m]					
	최적 반·입사각 [°]	총반사횟수			최적 반·입사각 [°]	총반사횟수			평균 반사횟수	
		최소	최대	차		최소	최대	차		
90	45	198	1151	953	405.5	45	66	383	317	134.5
100	40	166	1151	985	305.4	40	54	383	329	101.1
110	35	140	1169	1029	253.4	35	46	389	343	89.2
120	30	114	1189	1075	259.4	30	38	396	358	83.2
130	25	92	1214	1122	244.1	25	30	404	374	80.6
140	20	72	1242	1170	244.1	20	23	414	381	80.9
150	15	52	1285	1233	251.9	15	16	428	412	83.2
160	10	34	1357	1323	269.9	10	10	452	442	89.2
170	5	16	1516	1500	305.4	5	4	505	501	101.1

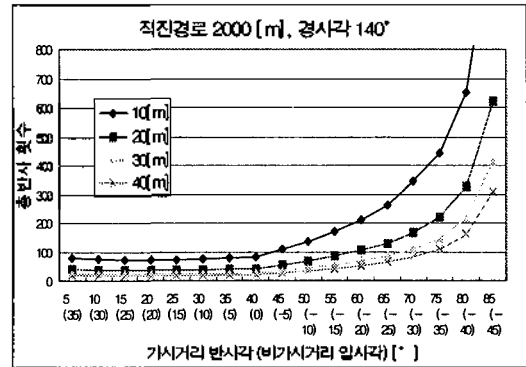
경사각 [°]	도로폭 20 [m]				도로폭 40 [m]					
	최적 반·입사각 [°]	총반사횟수			최적 반·입사각 [°]	총반사횟수			평균 반사횟수	
		최소	최대	차		최소	최대	차		
90	45	98	575	477	202.2	45	48	287	239	100.5
100	40	82	575	493	147.3	40	40	287	247	75.5
110	35	69	584	515	134.4	35	34	291	257	66.6
120	30	56	594	538	125.5	30	28	296	268	62.2
130	25	46	606	560	121.6	25	22	302	280	61.2
140	20	36	620	584	121.6	20	17	308	292	60.2
150	15	26	642	616	125.5	15	12	320	308	62.2
160	10	16	678	662	134.5	10	8	338	330	66.6
170	5	8	757	749	152.2	5	4	378	374	75.5



(a) 경사각 90°



(b) 경사각 130°



(c) 경사각 140°

그림 6. 경사각, 도로폭, 반사각, 입사각에 따른 총 반사횟수
Fig. 6. Total reflection numbers by θ_v , W_n , β_{ms} , β_{ci}

(a) 경사각 90° (b) 경사각 130° (c) 경사각 140°.

시뮬레이션 결과의 특징을 정리하면 다음과 같다.

◆ 총 반사횟수를 최적으로 할 수 있는 가시거리영역 최적 반사각은 모든 도로폭과 무관하고, 경사각에 반비례하여 경사각이 클수록 적어진다.

◆ 전파경로 손실의 가장 큰 원인중 하나인 평균 반사횟수는 도로폭에 관계없이 경사각 135°~140°, 가시거리영역 최종 반사각 20°~25°에서 가장 적고, 이들 각을 대칭으로 점점 증가한다.

결국, 전파의 유효전파비가 100%인경우, 모든 입사각과 반사각에서 이동국의 평균 수신전력을 최대로 하기 위한 직진 교차로의 경사각은 130°-140°범위, 가시거리 영역 최종 반사각은 20°~25°범위이다. 그러므로 마이크로셀 기지국 위치는 서비스 영역의 도로상황과 주변 교차로의 경사각에 따라 표 8로써 엄격히 규제되어야 한다.

3.2.3 반사파의 전파경로

가시거리 영역과 비가시거리 영역의 직진경로를 각각 1km로 할 때, 입사각과 반사각 그리고 도로폭과 경사각에 따라 값을 달리하는 각 영역에서의 전파경로와 총 전파경로는 식 (7)에 의해 구할 수 있고, 그 결과는 표 9, 그림 7과 같다.

표 9. 최적 반사각과 전파경로 그리고 경사각
Table 9. Optimal reflection angle, propagation path and sloping angle.

직진경로 2,000[m]

각사각 [°]	최적 반사각 [°]	총 전파경로[m]			총 전파경로 평균 [m]
		최저	최고	차	
90	45	2828	12478	9650	4941
100	40	2611	12478	9867	4035
110	35	2442	12509	10067	3767
120	30	2309	12577	10268	3638
130	25	2207	12695	10488	3585
140	20	2125	12838	10766	3585
150	15	2071	13217	11146	3638
160	10	2031	13840	11809	3767
170	5	2008	15337	13329	4046

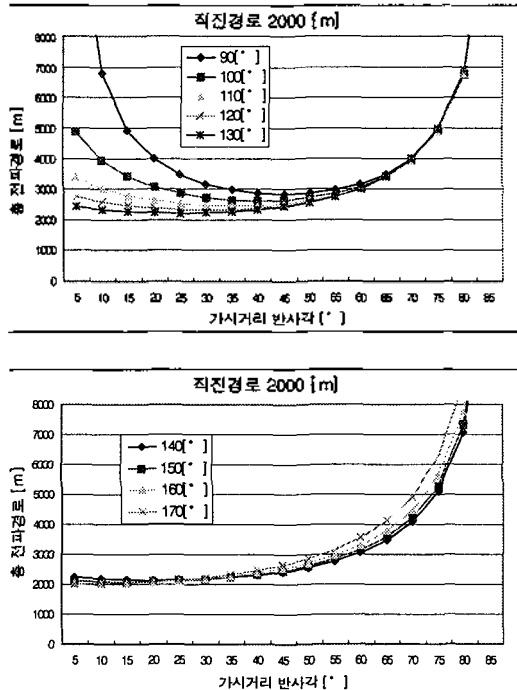


그림 7. 경사각, 반사각, 입사각에 따른 총 전파경로
Fig. 7. Total propagation paths by θ_p , β_{opt} , α_i .

표 9의 결과, 가시거리 영역에서와 마찬가지로 비가시거리 영역에서도 전파가 반사에 의해 실제 이동한 전파경로는 도로폭과 무관하지만, 총 전파경로는 최종 반사각에 비례하여 각이 클수록 짧아진 것만은 아니다. 최종 반사각 그리고 경사각에 따라 그 값을 달리하는 총 전파경로의 특징을 정리하면 다음과 같다.

- ◆ 동일한 경사각에서 최종 반사각이 같을때, 총 전파경로는 도로폭에 관계없이 일정하다.
- ◆ 동일 경사각에서 총 전파경로는 가시거리 영역 최종 반사각과 비가시거리 영역 최초 입사각이 동일할 때 최소이고, 그 각을 중심으로 대칭 분포하여 점점 증가한다.
- ◆ 총 전파경로는 경사각 140°까지는, 경사각이 클수록 감소하였으나 그 이상에서는 증가한다.
- ◆ 유효파수비를 100%로 하기 위한 경사각은 90°이상이다.
- ◆ 전파의 경로손실을 최소로 할 수 있는 경사각은 $135^\circ \pm 5^\circ$ 범위이다.

이상의 반사파 직진경로와 전파경로의 시뮬레이션 결과, 비가시거리 영역에서 인접 기지국간 신호간섭과 경로손실을 최소화하여 서비스 능률을 보다 향상시키기 위한 이동통신 마이크로셀 기지국의 최적 위치는 전파의 입사각과 반사각, 직진 교차로의 경사각, 도로폭에 따라 각각 달라지므로 표 7, 표 8, 표 9로써 엄격히 규제되어야 한다

IV. 결론

마이크로셀 또는 피코셀 이동통신 전파환경에서 인접 기지국간 신호간섭을 최소화하여 최소 출력으로 서비스 능률을 보다 향상 시킬 수 있는 최적 기지국 위치선정 조건을 제시하기 위해 삼각해석법 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션한 결과는 다음과 같다.

- ◆ 가시거리 영역에서 전파경로는 도로폭과 무관하며 도로폭이 클수록 반사횟수가 적고, 동일 도로폭에서 반사횟수는 전파의 입사각과 반사각이 적을수록 줄어들어 경로손실이 최소화된다.

결국, 최적 기지국의 위치는 셀내 주변 도로망의 폭에 따라 결정되어야하며 자세한 결과는 표2, 표 4와 같다.

- ◆ 비가시거리 영역에서 전파경로는 전파의 입사각과 반사각, 직진교차로의 경사각 그리고 도로폭에 따라 각각 다르며, 교차각 90°이상에서 100%의 유효전파비를 갖고, 전파 경로손실을 최소로 할 수 있는 경사각의 범위는 $135^\circ \pm 5^\circ$ 이다.

결국, 최적 기지국의 위치는 셀내 교차로의 경사각과 도로망의 폭에 따라 달라지며 자세한 결과는 표 7, 표 8, 표 9와 같다.

이상의 결과, 마이크로셀 또는 피코셀 이동통신 시스템 셀 설계에 있어서, 최소 출력으로 양질의 전송품질과 서비스를 제공하기 위해서는 전파경로 상 도로폭, 전파의 입사각과 반사각 그리고 가시거리 영역과 교차하는 비가시거

리 영역의 경사각이 중요한 파라미터임을 확인할 수 있다.
 최적 기지국 위치 선정을 위한 또 다른 방법으로써 기지국의 출력에 따른 임의의 수신점에서의 수신 전계강도를 예측할 수 있는 모델을 개발할 필요가 있다.

참 고 문 헌

1. Joseph sarnecki, C.Vinodrai,Alauddin Javed, Patrick O'kelly and Kevin Dick, "Microcell Design Principles," IEEE Communications Magazine, pp.76-82, April, 1993.
2. F.Ikegani, T.Takeuchi, and S.Yoshida, "Theoretical prediction of mean field strength for urban mobile radio," IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol.AP-39, pp.299-302.1991.
3. T.Iwama and M.Mizuno, "Perdiction of propagation characteristics for microcellular land mobile radio," Proc. ISAP, pp.421-424, Sapporo, Japan,1992.
4. V.Erceg, S.Ghassemzadh, M.Taylor, D.Li, andD.L.Schilling, "Urban/-suburban out-of-sight propagation modeling," IEEE Comun. Mag., pp.56-61, Jun,1992.
5. S. Y. Tan and H. S. Tan, "A microcellular communications propagation model based on the uniform theory of diffraction and multiple image theory," IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol.44, pp. 1317-1326, Oct, 1996
6. K. R. Schaubach, N. J. Davis, IV, and T. S. Rappaport, "A ray tracing method for predicting path loss and delay spread in microcelluar environments," in 42nd IEEE Veh Technol. Conf. Debnver, CO. May. 10-13, 1992, Vol. 2, pp. 932-935
7. Grey Lampard,Tuong Vu-Dinh, "The Effect of Terraon on Radio in Urban Microcells," in Proc., IEEE, pp.314-317, Nov, 1993.
8. 박성렬, "도시 지역의 전파전파 예측모델" 공학박사 학위논문, 조선대학교,1995년
9. 김송민, 박창균, "이동통신의 음영지역 전파환경 개선," 한국음향학회 Vol. 15 No. 3., pp. 89-96.1996.
10. 박성렬, 박창균, 임영석, "이동통신 환경에서의 전파전파 모델," 한국음향학회 논문지, pp89-96, June, 1996.
11. 노순국, 박창균, 임영석, "도시 환경에서의 전파전파 예측 모델," 1996년도 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, pp1524-1529, June, 1996.
12. 김재섭, 박창균, "교외지역 전파환경을 위한 예측 모델 제안," 한국음향학회 논문지, pp49-56, May, 1997.
13. 김재섭, "LMDS방식의 무선 CATV 전 파환경에 관한 연구" 공학박사 학위논문, 조선대학교,1997년
14. 김인환, 박창균, "이동통신의 CDMA 기지국과 Analog FM 이동국의 상호간섭에 관한 연구," 한국음향학회 Vol. 14, No. 3. , pp.105-113., 1995.
15. 김세운,김상욱, "임의의 교차각을 갖는 도심 도로에서 PCS를 위한 GTD 전파모델," Telecommunication Review, 제 6 권,제 3 호, pp.208-220, May, 1996.
16. 장광록,김효태, "전파송출법의 계산효율 개선에 관한 연구," Telecommunication Review, 제6권, 제3호, pp.698-714, 1996.
17. M. C. Lawton and J. P. McGeehan, "The applications of a deterministic ray launching algorithm for the prediction of radio channel characteristics in small-cell environments," IEEE Trans. Veh Technol., vol. 43, pp. 955-969, Nov.1994.

▲노 순 국(Sun Kuk Noh)

1969년 9월 9일생



1995년 2월: 조선대학교 공과대학
 전자공학과 (공학사)
 1997년 2월: 조선대학교 대학원 전자
 공학과 (공학석사)
 1997년 3월~현재: 조선대학교 대학원
 전자공학과 박사과정
 ※ 주관심 분야: 디지털통신이론, 이동
 통신, 전파전파 등

▲박 창 균(Chang Kyun Park)

1944년 1월 25일생



1968년 2월: 조선대학교 공과대학
 전기공학과 (공학사)
 1979년 2월: 동국대학교 대학원 전자
 공학과 (공학석사)
 1999년 2월: 전남대학교 대학원 전자
 공학과 (공학박사)
 1974년 3월~현재: 조선대학교 공과
 대학 전자정보통신공
 학부 교수
 ※ 주관심 분야: 통신이론, 이동통신, 전파전파 등